

Vermiculite による水質浄化研究



青森県立名久井農業高等学校 環境研究班

1 研究の背景

近年、開発途上国や新興国では、富栄養化による水質汚染が発生している。これは排水や化学肥料などによって、河川や湖沼の窒素とリンが高濃度になるのが原因であるが、汚染水は人間などの健康に悪影響を与えるため問題となっている。浄化施設での対策が一般的だが高コストであり導入が進んでいない。天然浄化資材の代表である炭、なかでも活性炭は細孔を有するため浄化力が高い。また粘土鉱物のゼオライトも浄化力が高く利用されている。しかし活性炭は加熱や薬品処理する必要があるため、日本では 2,900 円/kg、またゼオライトでは天然物で 100 円/kg、人工ゼオライトでは 300 円/kg 以上と途上国で用いる資材としては難があり、新しい安価な資材開発が望まれている。

そこで私たちはバーミキュライト（以下 Vm）に着目した。Vm はアジア、アフリカなど世界中で産出されている粘土鉱物である。層状構造内に負の電荷が発生する仕組みがあるため陽イオンの吸着力が高い。そのため園芸では保肥材として活用されている。製造は、採掘したバーミキュライトを約 1,000℃ で焼成する。焼成加工が必要だが、日本では 46 円/kg と極めて安価である。また Vm には、かつて有害物質の石綿が含まれているという問題があったが、それはアメリカの一部の産地に限られており、中国やアフリカ、日本などその他の地域の Vm に石綿が含まれている報告はないため、今も世界で年間 500 万 t 以上も算出されている。

このように世界の大陸で産出され、広く利用されている安価な Vm だが、水質浄化資材としては活用されていない。そこで私たちは研究により極めて優れた窒素浄化能力があることを明らかにした。また浄化は浸漬だけでよく、さらに焼成不要のためより安価な資材となる。以下はその結果だが、無処理 Vm の浄水は安全な水と人々の健康、環境保全に貢献できる開発途上国に適した新素材、新技術だと私たちは考える。

2 研究方法

（1）富栄養化水

富栄養化による水質汚染は、青森県の小川原湖のような比較的低濃度のものから、インドのビムタム湖のように高濃度のものまで幅広く存在する。そこでこれらの水質を想定して、液体肥料（ハイポニックス 6-10-5）と水道水を用いて富栄養化水と高濃度の富栄養化水の 2 種類を作った。製作した富栄養化水の水質を表 1 に示した。

表 1 富栄養化水と高濃度富栄養化水の水質

項目	富栄養化水	高濃度富栄養化水
pH	7.6	7.1
NH ₄ -N (mg/L)	14.08	23.36
NO ₃ -N (mg/L)	8.54	9.52
PO ₄ -P (mg/L)	1.60	2.04

（2）浄化試験

試験は 18L 水槽を用いて行った。表 2 の試験区を富栄養化水、高濃度富栄養化水の 2 つに設けた。浸漬区は不織布に浄化資材を 650ml 詰め水槽に沈めた。また循環区は観賞魚用の浄化装置の浄化資材を無処理 Vm650ml に替えて行った。水槽はアルミホイルで遮光し藻類の発生を抑えた。用いた浄化資材は図 1 に示した。なお Vm は福島県産である。

表2 試験区の設定

分類	試験区	内容
無処理	Control	浄化資材なし
浸漬	活性炭区	活性炭 650ml を浸漬
	焼成 Vm 区	焼成 Vm650ml を浸漬
	無処理 Vm 区	無処理 Vm650ml を浸漬
循環	無処理 Vm 区	無処理 Vm650ml を浄化装置内に充填し栄養化水を循環させる



図1 浄化資材 (a:活性炭、b:無処理 Vm、c:焼成 Vm、) と実験装置 (循環区)

(3) 栄養分の回収試験

吸着した窒素は植物にとって栄養分である。そこで浄化後、Vmからの回収を試みた。試験区は5週間浄化した無処理 Vm 1g に水 50ml を加え、3時間浸漬させ溶出を促す浸漬区、1g に純水 50ml を加え、60分間マグネチックスターラーで攪拌後、2時間放置する攪拌区の2区を設けた。さらに水をマイクロバブル発生装置に通し、ナノサイズの微細な泡を含んだマイクロバブル水(MBW)を発生させ、それに浸漬及び攪拌する区も設けた。なお平均気泡径は1ミクロンである。試験区は表3に示した。

表3 回収試験の試験区

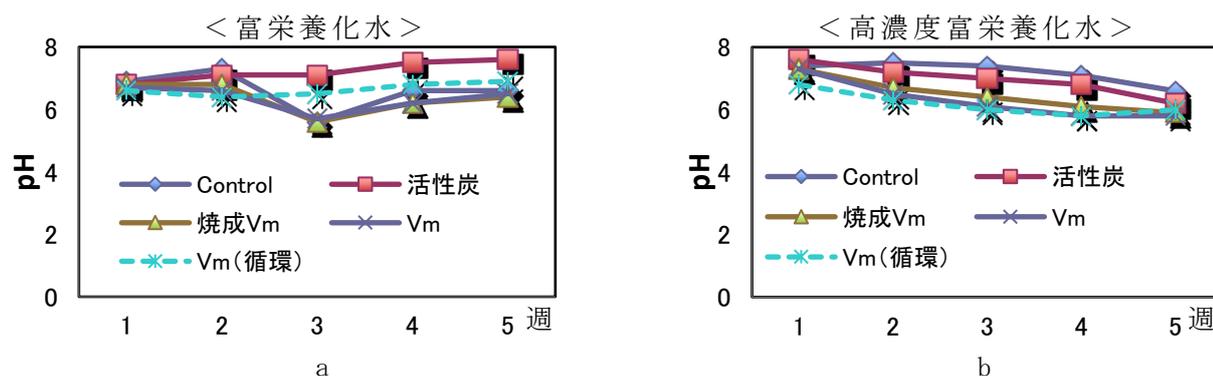
試験区	浄化資材	方法
純水浸漬区	無処理バーミキュライト	純水に3時間浸漬放置
純水攪拌区	無処理バーミキュライト	純水で1時間攪拌後、2時間放置
MBW浸漬区	無処理バーミキュライト	MBWに3時間浸漬放
MBW攪拌区	無処理バーミキュライト	MBWで1時間攪拌後、2時間放置

3 結果

(1) 浄化試験

結果を図2に示した。グラフは左列が富栄養化水、右列が高濃度富栄養化水である。

pHは無処理のControl及び各浄化資材を浸漬、循環させたいずれの区も5週間に渡り中性となり、水棲生物や周辺環境に大きな影響を与えないことがわかった。



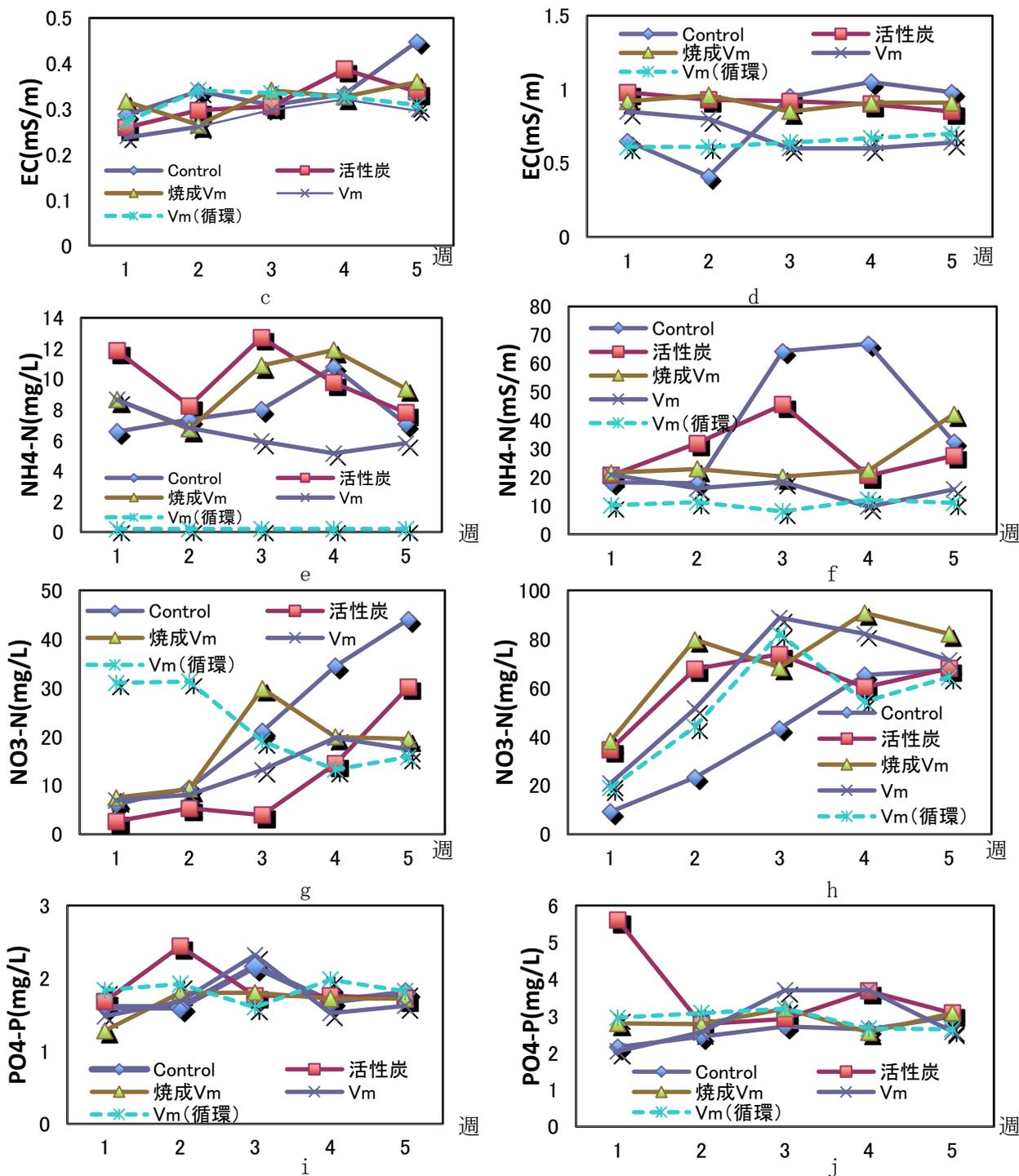


図2 水槽の水質(富栄養化水:acegi、高濃度富栄養化水:bdfhj)

NH₄-Nは富栄養化水、高濃度富栄養化水のどちらも、活性炭及烧成Vmでは大差なかった。しかし無処理Vm浸漬区及び循環区では減少した。特に循環区では大幅に浄化した。これは富栄養化水が常に動きを伴って触れ続けるため、Vmの吸着効率が向上したと考えられる。

烧成Vmは、層内に存在するマグネシウムイオンが陽イオンのアンモニウムイオンやカリウムイオンと交換され、2:1型層状構造の最外部にある直径約0.26nmの孔隙に固定することがわかっている。無処理VmのNH₄-Nが減少したのはこれが理由と思われる。ところが硝酸態窒素とリン酸態リンではどの資材とも大幅な濃度減少は見られなかった。これは硝酸イオンとリン酸イオンが陰イオンのため、交換できなかったからだと考えられる。

全硬度 (TH) では、無処理 Vm を浸漬及び循環させた区が増えている (図 3)。全硬度はマグネシウムとカルシウムイオンの総量である。したがって Vm と富栄養水の間で、マグネシウムイオンとアンモニウムイオンの交換が行われたことが裏付けられる。

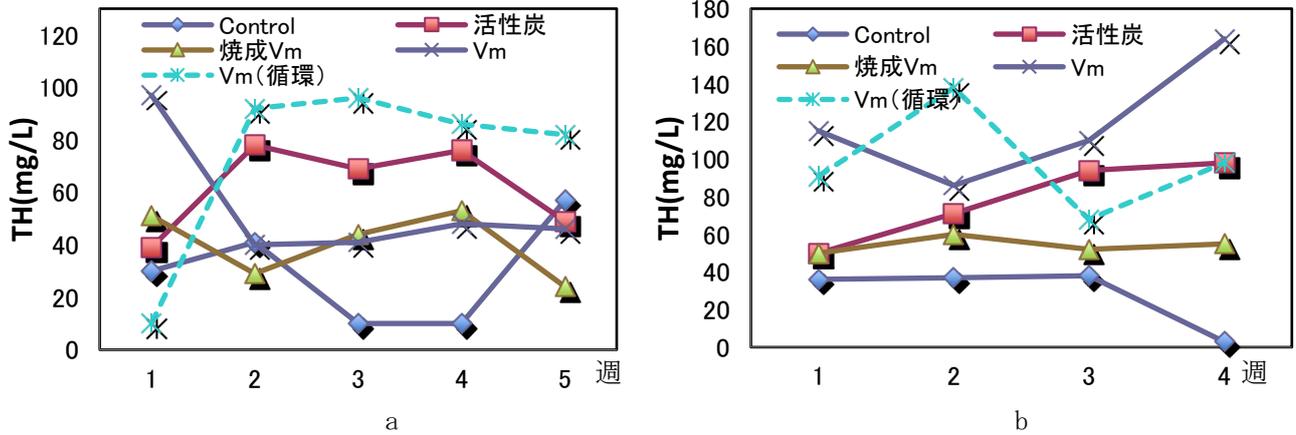


図 3 全硬度 (TH) の変化 (a: 富栄養化水、b: 高濃度富栄養化水)

(2) 栄養分の回収試験

水中の過剰な窒素を浄化した Vm から、栄養分を回収できると農業に利用することができる。そこで無処理 Vm を純水、マイクロバブル水 (MBW) に浸漬及び攪拌して水質の変化を分析した。その結果が図 4 である。pH では、いずれも中性の範囲内であった。これにより回収した水溶液を再利用しても pH では問題がないことがわかった。EC (電気伝導度) では、浸漬区、攪拌区とも純水より MBW では 6 倍以上に高くなった。これは MBW にたくさんの物質が含まれていることを意味している。

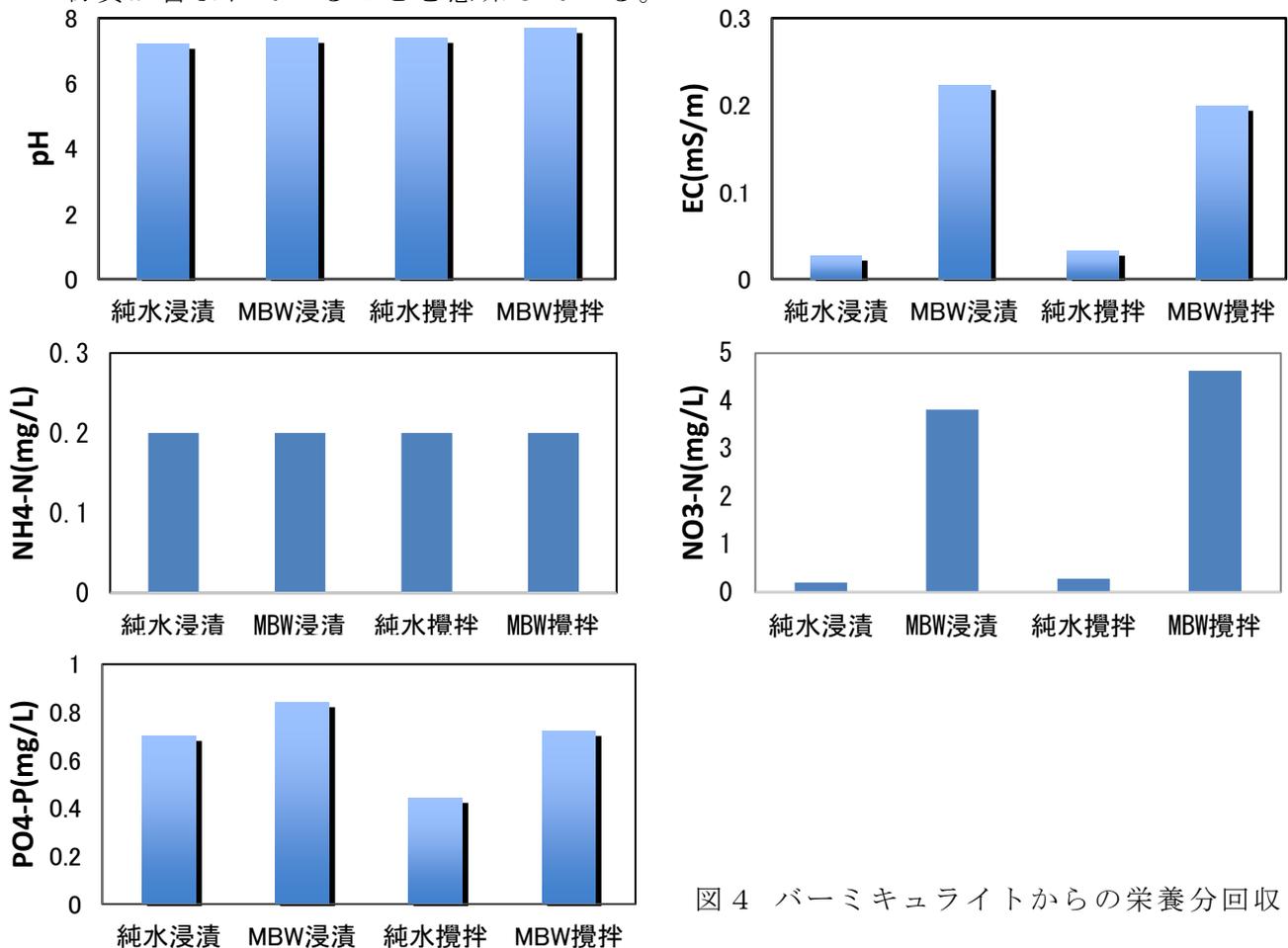


図 4 バーミキュライトからの栄養分回収

NH₄-N はいずれも区も微量しか存在しなかった。ところ N₀₃-N は MBW の浸漬区及び攪拌区で高濃度となった。また P₀₄-P でも純水よりも MBW を用いると濃度が高くなった。MBW の微細気泡は強い負の電荷を帯びている。しかしその電荷では引きはがせさないほど V_m は陽イオンのアンモニウムイオンをしっかりと保持しているものと考えられる。ところが N₀₃-N と P₀₄-P では明らかに MBW で回収できた。硝酸イオン、リン酸イオンは陰イオンであり、負に電荷したマイクロバブルの微細気泡に吸着されることはない。しかしマイクロバブルの特徴のひとつに、微細気泡は水中内で破裂して衝撃波を出すことがわかっている。おそらく N₀₃-N と P₀₄-P の濃度が高くなったのは、V_m に触れた無数の微細気泡が破裂し、付着しているこれらの栄養分を衝撃波によって引き剥がしたのではないかと考えられる。野菜を栽培する場合、EC₀. 5mS/cm 前後の肥料で栽培する作物もある。本実験では窒素など必要な半分弱の 0.2mS/cm を回収できた。したがってこの回収水を利用すると肥料の節約が可能になり、資源の再利用と経営コストの削減につながると考えられる。では保肥材の焼成 V_m が、無処理 V_m より浄化力が劣った理由を考察してみる。V_m を加熱すると 600 度程度から陽イオンの吸着量が減り、800 度で加熱すると大幅に減少することがわかっている。その理由はまだ解明されていないが、おそらく V_m の負電荷を発生する仕組みが壊れるためだと考えられている。本研究で無処理 V_m の方が窒素浄化できたのはこれが理由だと思われる。

4 まとめ

世界の富栄養化による水質汚染は拡大傾向にある。なぜなら開発途上国では処理施設が高コストのため導入できないこと、また近代化を歩んでいる新興国では急激に人口が増加しているため過剰栄養分の排出量が増え、浄化がそれに間に合わないからである。私たちは本研究で無処理 V_m が、通常用いられている活性炭や焼成 V_m バーミキュライトより優れた窒素浄化力があることを明らかにした。無処理 V_m は焼成する必要がないためもっと安価に流通される可能性がある。富栄養化になった河川や湖沼に浸漬するだけで浄化できる。さらに河川小さな堰を作り、V_m にかけて流すとより浄化効率が上がると考えられる(図5)。本研究では6ヶ月以上経っても水槽のアンモニア態窒素は増えなかった。詳細はさらに調査が必要だが、かなりの長期間利用できるものと考えられる。しかし V_m は永遠に栄養分を吸着できない。そこで浄化力が低下したら回収し圃場に投入すると、粘土質土壌の排水性を高め、さらに砂質土では保水性、保肥性を高めることができる。さらにマイクロバブル発生装置が入手できる場合は、吸着した養分を回収できるので、栽培を行う際に散布する肥料を減らすことも可能だと考える。過剰な施肥は河川に流れ込み富栄養化の原因になる。このことから途上国の適切な施肥による経営改善と環境保全にも貢献できると思われる。

安全な水環境は、人間の健康と生態系の維持、さらに食糧生産など多岐に関与している。

本研究は、これらの実現を目指す S D Gs にも貢献できるものである。今後は今まで注目されなかった無処理 V_m の有効利用を目指し、さらに研究を深めていきたい。



図5 堰を使ったかけ流し浄化のイメージ